



## Localisation collaborative pour réseaux de capteurs

Karel Heurtefeux, Fabrice Valois

### ► To cite this version:

Karel Heurtefeux, Fabrice Valois. Localisation collaborative pour réseaux de capteurs. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP), Mar 2008, Les Arcs, France. hal-00250241

**HAL Id: hal-00250241**

**<https://hal.science/hal-00250241>**

Submitted on 11 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Localisation collaborative pour réseaux de capteurs

**Karel Heurtefeux— Fabrice Valois**

*ARES INRIA / CITI, INSA-Lyon, , France  
Bâtiment Léonard de Vinci  
21, avenue Jean Capelle  
F-69621 Villeurbanne Cedex  
{karel.heurtefeux, fabrice.valois}@insa-lyon.fr*

---

*RÉSUMÉ. L'utilisation de mécanismes de localisation dans les réseaux de capteurs est essentiel à la fois pour les protocoles de communication (routage géographique) que pour certaines applications (suivi de véhicules). Dans cet article nous proposons un nouvel algorithme localisé sans GPS, sans ancre et sans spécificité matérielle particulière. Chaque nœud va construire une table de distance qualitative basée sur la collaboration avec son voisinage, i.e. basé sur les informations reçues de ses voisins 1 et 2 sauts grâce à un échange de paquets **hello**. Ainsi cet algorithme va permettre à chaque nœud du réseau de classer ses voisins en trois catégories : très proche, proche et éloigné. Nous avons étudié notre solution sur une topologie particulière, la grille, puis nous évaluons ses performances sur des topologies aléatoires.*

*ABSTRACT. The use of localization mechanism is essential in wireless sensor networks either for communication protocols (geographic routing protocol) or for applications (vehicle tracking). The goal of localization mechanism is to determine either precisely or coarsely the node location using either a global reference (GPS) or a locale one. In this work, we introduce a new localized algorithm which classified the proximity of the neighborhood for a node. This qualitative localization does not use any anchor or dedicated hardware like a GPS. Each node builds a Qualitative Distance Table according to the 2-hop neighborhood informations. Thus, the algorithm allows to determine coarsely the location of the neighbors which are classified as very close, close or far. The algorithm is analyzed both on a regular topology (grid) and a random one.*

*MOTS-CLÉS : contrôle de topologie, localisation, réseaux de capteurs, sans GPS, distance qualitative.*

*KEYWORDS: topology control, localisation, sensor networks, GPS-free, qualitative distance.*

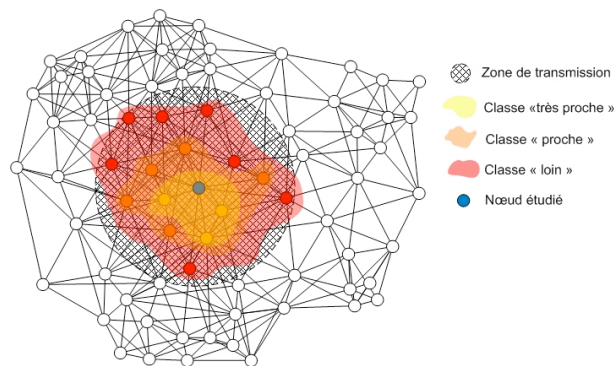
---

## 1. Introduction

De nombreuses applications pour les réseaux de capteurs comme la surveillance de feu de forêt, le suivi de véhicule, etc... ont besoin d'avoir une information géographique pour fonctionner efficacement. Les protocoles de routage géographique ou orienté position vont pouvoir fonctionner sans le coûteux mécanisme de découverte de route proactive et ainsi économiser de l'énergie et améliorer le taux d'acheminement. De plus, dans les protocoles de contrôle de topologie, où chaque capteur doit ajuster sa puissance de transmission pour minimiser sa consommation énergétique, les algorithmes ont le plus souvent besoin d'information sur la position des voisins.

Le GPS [HOF 01] résout le problème de la localisation dans les environnements extérieurs. Cependant, pour les larges réseaux de capteurs où les nœuds doivent être de très petite taille, peu consommateur et peu onéreux, équiper chaque unité avec une puce GPS est trop coûteux.

Dans ce papier nous proposons un algorithme qui va permettre à chaque nœud de localiser *qualitativement* ses voisins en utilisant uniquement des informations locales. Notre objectif est de montrer qu'il existe une possibilité d'obtenir des informations assez précises sur la position des nœuds dans un réseau de capteurs sans s'appuyer ni sur un sous ensemble de nœuds connaissant leur position (ancres), ni sur des équipements spéciaux. L'algorithme déployé sur un nœud utilise seulement des informations obtenues par l'échange de table de voisinage à l'aide de paquets `hello` classique pour calculer un **indice de proximité** pour chaque voisin à un saut. Nous montrons que, malgré une légère imprécision inévitable, l'algorithme reste assez fiable et presque parfait sur les topologies particulières (grille). La figure 1 illustre le résultat de l'algorithme : les voisins à un saut du nœud étudié sont classés en 3 catégories : très proche, proche et loin.



**Figure 1.** Exemple d'une application de l'algorithme pour un nœud

Ce papier est organisé de la façon suivante : dans le chapitre 2 nous présentons différentes techniques de localisation existantes. L'algorithme de localisation qualitative

est présenté chapitre 3. Les hypothèses que nous avons prises ainsi que les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre 4. Dans le chapitre 5, nous concluons ce travail avec une présentation des travaux futurs.

## 2. État de l'art

De nombreuses techniques sont proposées pour permettre aux nœuds d'estimer leur position. Nous pouvons distinguer deux types de stratégie de localisation : les localisations fines et les localisations approximatives. Les localisations fines détermineront de manière précise les coordonnées du nœud dans le réseau tandis que les localisations approximatives, ou grossières, spécifieront une surface ou des coordonnées virtuelles, etc...

### 2.1. *Localisations fines*

L'utilisation du GPS permet d'éviter le problème de la localisation en extérieur. Cependant son coût, à la fois économique et énergétique, pose soucis. Quelques papiers contournent le problème et proposent l'utilisation d'ancres : seulement certains nœuds connaissent leur position précise et permettent autres nœuds du réseau, par triangulation ou multilatération de connaître la leur. Pour cela, plusieurs solutions sont proposées :

- La mesure de la puissance du signal reçue. Cette mesure est irréaliste car le signal radio est perturbé par l'environnement et varie grandement au cours du temps,
- ToA (Time of Arrival) [CAP 01] mais ce mécanisme nécessite une horloge synchronisée entre les nœuds,
- TDoA (Time difference of Arrival) [WAR 97], [NAW 07] : deux signaux de différentes natures sont utilisés (ultra-sons et radio par exemple),
- AoA (Angle of Arrival) [NIC 03], [AKC 06] : Cette méthode permet de déterminer la direction de propagation d'une onde radio reçue par un ensemble d'antennes,
- Combinaison de TDoA et de AoA [MAG 07] pour améliorer la précision et étendre des environnements 2D à ceux 3D la méthode de Capkun [CAP 01].

Tous ces protocoles ne prennent pas en compte la consommation énergétique et le coût des nœuds avec comme hypothèses des capteurs suréquipés. En outre, le système des ancres n'évite pas le problème de la localisation mais ne fait que le réduire à un sous-ensemble des nœuds du réseau. De plus il fait apparaître d'autres problèmes comme le placement optimal de ces ancres dans le réseau, pour permettre une meilleure localisation des nœuds [BEN 07], [DES 07], [SAA 06a], [SAA 06b].

## 2.2. Localisations approximatives

D'autres stratégies consistent à trouver des coordonnées approximatives. Selon l'application, une localisation approximative des capteurs peut être un bon compromis et dans ce cas plusieurs approches sont possibles :

- Le système des badges actifs [HOP 93] : chaque nœud est marqué et transmet un paquet hello périodique toutes les 10 secondes. Le signal est reçu par des capteurs placés à des endroits précis et fixes à l'intérieur d'un bâtiment et qui vont relayer l'information jusqu'au puits.

- L'algorithme d'estimation de position [HU 04] calcule des probabilités de distribution des positions possibles des nœuds. En fonction de la position précédente des nœuds et des observations provenant d'ancres déployées dans le réseau, l'algorithme est capable de filtrer les positions impossibles.

- Le système de coordonnées virtuelles [CAO 06] : chaque nœud détermine sa distance aux ancres en nombre de sauts et détermine ainsi ses propres coordonnées dans un système dont la dimension dépend du nombre d'ancres.

Ces protocoles sont peu adaptés aux réseaux de capteurs car ils requièrent soit des ancres fixées à une architecture fixe soit un calcul centralisé.

## 3. Algorithme de localisation qualitative

Il faut garder à l'esprit que le but de notre algorithme est de permettre à chaque nœud de déterminer grossièrement la position de ses voisins en utilisant uniquement des informations locales. Ces informations locales proviennent de paquets hello échangés périodiquement entre les voisins à 1 saut. La position qualitative d'un voisin peut être *très proche*, *proche* ou *loin*. Ainsi, cette position imprécise peut être utilisée pour construire un protocole de routage unicast efficace dans un environnement sans fil avec un haut niveau d'interférences : choisir les voisins considérés comme *très proches* permet de choisir les nœuds avec un rapport signal sur bruit important. Des applications au contrôle de topologie et aux coordonnées virtuelles pour le routage sont également possibles.

Le nœud  $A$  calcule l'indice de proximité d'un voisin  $B$  de la façon suivante :

$$PI_A(B) = (|V(a) \cap V(b)|) - \frac{\max(|V(a)|, |V(b)|)}{2}$$

avec  $V(a)$  le voisinage de  $A$ .

L'idée générale est d'attribuer un indice fort aux voisins ayant à la fois un voisinage commun important et un voisinage distinct faible. L'indice de proximité va ainsi évaluer la similarité des voisinages. Ainsi, nous prenons en compte dans l'algorithme le rapport entre le nombre de voisins communs et le nombre de voisins disjoints. Il

semble en effet logique que des voisins proches géographiquement aient un voisinage fortement semblable alors que deux voisins éloignés vont avoir un voisinage assez dissemblable. Ainsi l'indice de proximité va représenter la distance **qualitative** d'un voisin. Nous allons voir que cette proximité qualitative va de paire avec la proximité géographique dans le cas des réseaux de capteurs dense. Ce mécanisme permet d'établir trois classe distinctes parmi les voisins : la classe *très proche* (ou 1), la classe *proche* (ou 2) et la classe *loin* (ou 3). Nous déterminons les classes des nœuds de la façon suivante :

Soit  $PI(x)$  l'indice de proximité du voisin  $x$  :

$$inter = \frac{\max(PI(x_i)) - \min(PI(x_i))}{3}$$

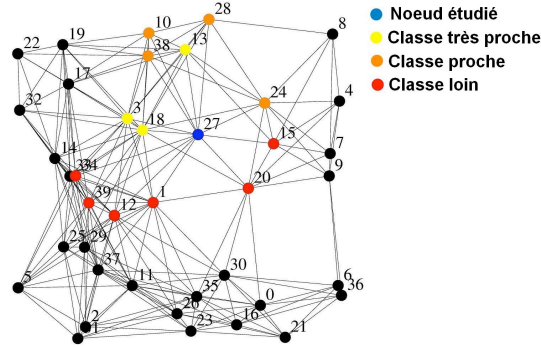
$$classe_x = \begin{cases} 1 & \text{si } PI(x) \geq \max(PI(x_i)) - inter \\ 2 & \text{si } \max(PI(x_i)) - inter > PI(x) \geq \max(PI(x_i)) - 2.inter \\ 3 & \text{si } PI(x) < \max(PI(x_i)) - 2.inter \end{cases}$$

Chaque nœud du réseau calcule l'indice de proximité de chacun de ses voisins en fonction des informations reçues de son voisinage à 1 saut. Chaque nœud maintient une table de voisinage à 1 et 2 sauts et diffuse celle à 1 saut avec des paquets hello périodiques. La figure 2 et le tableau 3 montre une application de l'algorithme sur un nœud particulier. Le nœud 27 ordonne ses voisins en 3 classes de proximité. Nous pouvons voir en détails les valeurs trouvées par l'algorithme dans le tableau 3. Celui-ci permet également de mettre en parallèle ces valeurs avec celles déterminées par la distance euclidiennes. Notez que sur cet exemple le réseau est relativement peu dense.

Le protocole est peu consommateur en énergie car il utilise seulement des informations nécessaires à beaucoup d'autres protocoles déployés dans les réseaux de capteurs : auto-organisation (CDS-règle-k [WU 99], CDS-MIS [WAN 02],...) et protocoles de routages pro-actifs (OLSR,... [CLA 03]). De plus, si le réseau est peu dynamique (faible mobilité, peu de naissance ou de mort de nœuds dans le réseau [HEU 07]) cet échange de paquets peut être réduit voire limité simplement à la phase de déploiement du réseau.

#### 4. Résultats

Tous les résultats proviennent de simulations. Nous avons utilisé un simulateur à événements discrets Java in Simulation Time (JiST) et le module Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator (SWANS) [BAR 05]. La topologie du réseau de capteurs est modélisée comme un graphe de disques unitaires (UDG) avec une couche MAC de type CSMA-CA. La cardinalité du réseau varie entre 50 et 700 nœuds, répartis de façon aléatoire et uniforme sur la surface de simulation excepté lors de l'étude sur la topologie particulière où les nœuds ont été placés de façon régulière sur une grille.



**Figure 2.** Exemple de localisation qualitative calculé par le nœud 27.

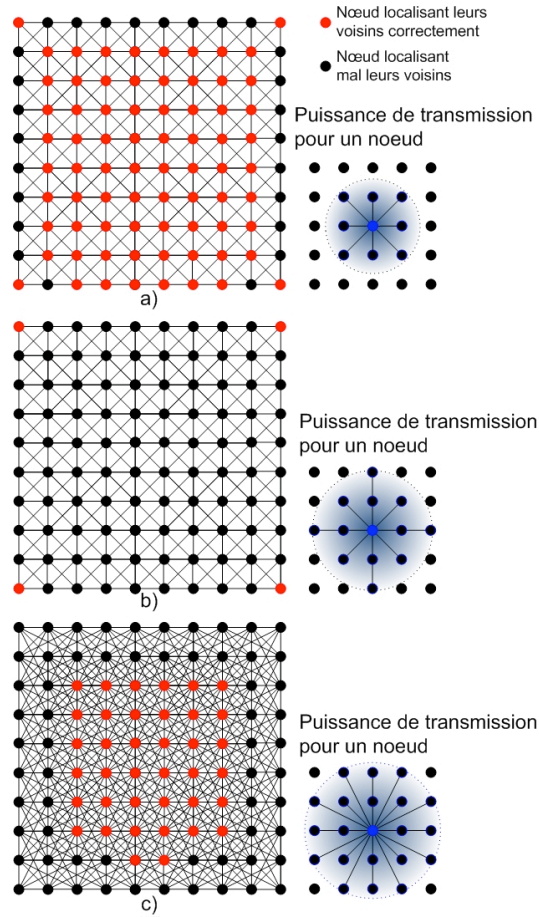
Voisins	indice de proximité	distance euclidienne	classe de proximité	classe réelle
18	2.0	50,067	very close	very close
3	1.0	65, 18	very close	very close
13	0.5	77, 01	very close	close
38	-0.5	83, 66	close	far
28	-0.5	103, 76	close	far
24	-0.5	66, 20	close	very close
10	-1.5	101, 18	close	far
1	-2.0	73, 09	far	close
20	-2.5	65, 96	far	very close
39	-3.0	115, 62	far	far
34	-3.0	115, 98	far	far
15	-3.5	68, 28	far	very close
12	-4.0	104, 40	far	far

**Figure 3.** Comparaison de la localisation pour les voisins du nœud 27 obtenue avec l'algorithme de localisation qualitative et en utilisant la position réelle.

Chaque nœud est immobile. La puissance de transmission est utilisée pour contrôler le degré moyen des nœuds du réseau. L'objectif est d'étudier notre protocole et d'observer son efficacité dans le classement des nœuds voisins.

#### 4.1. Comportement du protocole de localisation qualitative sur une topologie régulière

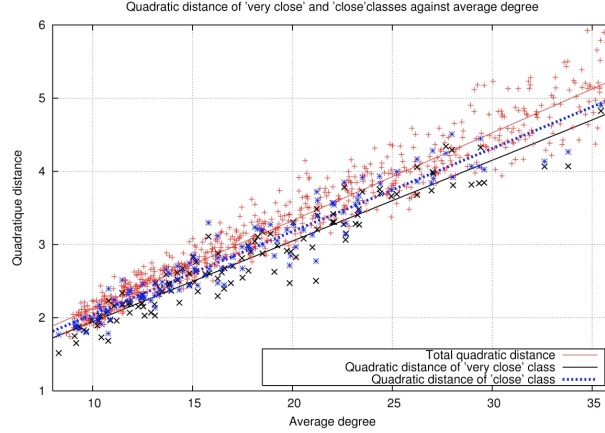
Nous simulons un réseau de 100 capteurs déployés de façon uniforme et régulière sur une grille de 10x10. Ensuite, nous augmentons la puissance de transmission de chacun des capteurs et nous observons comment réagit le protocole de localisation



**Figure 4.** *Algorithme déployé sur une grille*

qualitative. Parfois le voisinage n'est pas représentatif de la régularité de l'ensemble du réseau (cf. Fig 4). Dans ce cas (voir scénario b) Fig. 4) ou quand les nœuds se trouvent sur les bords, l'algorithme ne parvient pas à ordonner correctement les voisins des deux premières classes de proximité à cause des incohérences dans le voisinage. Pour les autres topologies, les différentes classes sont déterminées sans erreur et l'indice de proximité est identique pour des voisins éloignés de la même distance géographique. Nous pouvons conclure que quand la topologie et le voisinage sont uniformes et réguliers, la localisation qualitative est très efficace.





**Figure 5.** Distance quadratique par classe

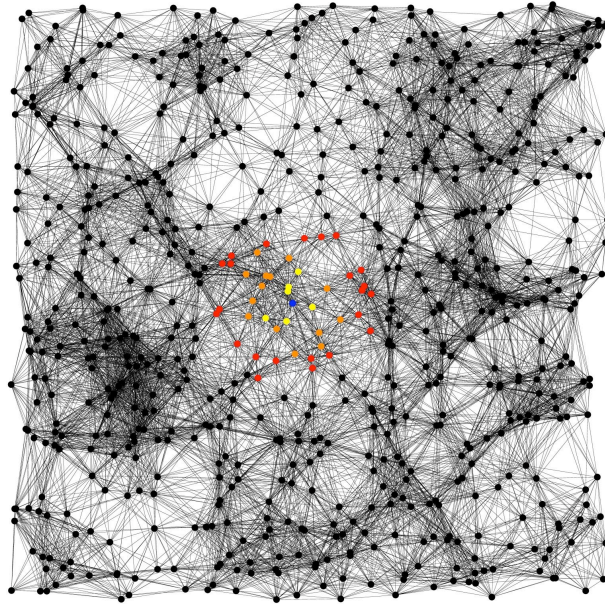
#### 4.2. Comportement du protocole de localisation qualitative sur des topologies aléatoires

Cependant, les réseaux de capteurs sont, la plupart du temps, déployés de façon aléatoire. Afin de mesurer la précision de l'algorithme dans un environnement plus réaliste, nous déployons, selon une distribution aléatoire et uniforme, 100 nœuds dont nous faisons varier la puissance de transmission pour augmenter le degré. Nous calculons ensuite la distance quadratique entre la liste des voisins de chacun des nœuds classée selon la position réelle des nœuds (GPS) et celle classée par l'algorithme.

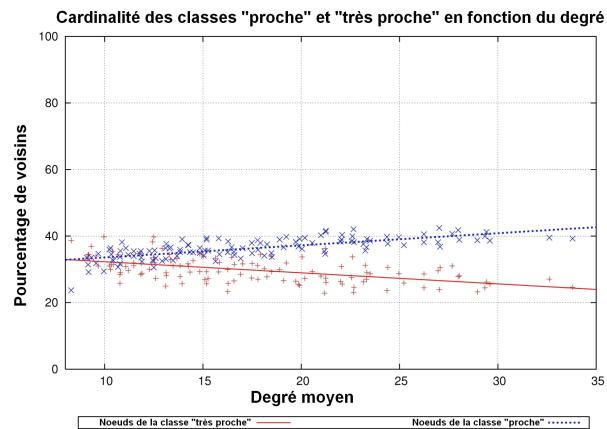
Soit deux listes  $v$  et  $w$  dans  $R^n$  tel que :  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ ,  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ . La distance quadratique  $dq$  est :

$$dq = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - w_i)^2}$$

Dans cet article nous étudions la distance quadratique de l'algorithme pour les classe *très proche* et *proche* et pour toutes les classes. Nous observons que la distance quadratique augmente mais de façon plus lente que le degré moyen. Quand le degré moyen augmente le nombre de voisins à classer pour chaque nœud augmente. Si la distance quadratique reste basse, cela signifie que la précision augmente. Ce phénomène s'explique par le grand nombre d'information reçu quand le voisinage est important et donc une plus grande fiabilité dans l'indice de proximité. Les différentes classes varient de la même façon. En outre, nous pouvons noter une plus faible augmentation pour les deux premières classe : *proche* et *très proche*.

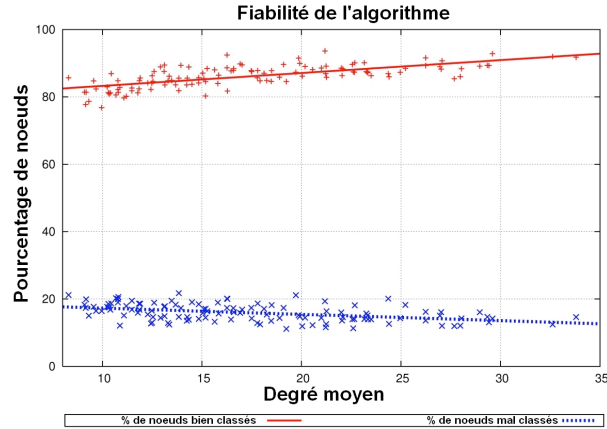


**Figure 6.** Les 3 classes de l'algorithme



**Figure 7.** Évolution de la cardinalité des classes de proximité en fonction du degré moyen

Dans le cas d'une topologie dense (700 nœuds, degré moyen : 40), la localisation est très efficace. Nous pouvons voir le classement en trois classe, par le nœud 27 de son voisinage figure 6. Les nœuds jaunes appartiennent à la classe *très proche*, les oranges à la classe *proche* et les rouges à la classe *loin*.



**Figure 8.** Évolution de la fiabilité de l'algorithme en fonction du degré moyen

Chaque nœud alloue une classe à ses voisins en fonction de son indice de proximité. Comment évoluent ces classes quand le degré moyen augmente ? La classe *très proche* va-t-elle croître proportionnellement au nombre de voisin ? Nous avons vu que la distance quadratique augmente légèrement quand le degré moyen augmentait. Cependant cette métrique est très sensible à la taille des listes évaluées. Ainsi nous étudions le pourcentage moyen de nœuds sélectionnés dans la classe *très proche* et *proche* (Fig. 7). Nous pouvons souligner que le pourcentage des nœuds de la classe *très proche* diminue alors que, dans le même temps, la classe *proche* augmente. La cardinalité de classe *loin* reste constante. Cela indique que plus la densité est importante et plus l'indice de proximité est capable de distinguer les nœuds réellement proches.

Quand l'algorithme détermine une classe de distance pour un voisin, il est primordial de savoir si ce nœud sélectionné comme proche ou très proche, l'est effectivement dans le monde réel. Pour répondre à cette interrogation, nous avons déterminé le nombre de nœuds appartenant à la classe *proche* et *très proche* sélectionnés par l'algorithme appartenant effectivement à ces classes géographiquement. Ensuite nous regardons le nombre de nœuds réellement dans ces deux classes et non sélectionnés par l'algorithme. Nous avons ainsi la fiabilité de l'algorithme en répondant à ces deux questions : quelle probabilité qu'un voisin classé comme proche ou très proche le soit effectivement et quelle probabilité qu'un nœud proche ou très proche soit manqué par l'algorithme. Nous observons une fiabilité de plus de 80% même pour des topologies de faible degré (Fig 8).

## 5. Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous proposons un algorithme de localisation des voisins utilisant uniquement des informations locales. Notre solution fonctionne sans GPS, ni ancre ou

équipement spécial. Basé sur des informations provenant de son voisinage à 1 saut, un nœud peut qualitativement classer son voisinage en des groupes de nœuds *très proches*, *proches* ou *loins*. Nous avons étudié le comportement de notre algorithme sur une topologie régulière et sur des topologies aléatoires. La distance quadratique est calculée pour mettre en évidence l'efficacité de la classification obtenue. Nos premières simulations nous donnent des résultats très encourageants en termes d'énergie et permet d'envisager un algorithme de contrôle de topologie sans ancre ni GPS. Ensuite nous appliquerons l'algorithme de localisation qualitative pour construire un protocole de routage basé sur des coordonnées virtuelles, ainsi qu'un protocole de routage unicast adapté aux réseaux de capteurs avec interférences.

## 6. Bibliographie

- [AKC 06] AKCAN H., KRIAKOV V., BRÖNNIMANN H., DELIS A., « GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks », *ACM MobiDE*, New York, NY, USA, 2006, p. 35–42.
- [BAR 05] BARR R., HAAS Z., VAN RENESSE R., « *Scalable Wireless Ad hoc Network Simulation* », chapitre 19, p. 297–311, CRC Press, August 2005.
- [BEN 07] BENBADIS F., OBRACZKA K., CORTÈS J., BRANDWAJN A., « Exploring landmark placement strategies for self-localization in wireless sensor networks », *IEEE PIMRC*, Athens, Greece, September 2007.
- [CAO 06] CAO Q., ABDELZAHER T., « Scalable logical coordinates framework for routing in wireless sensor networks », *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 2, n° 4, 2006, p. 557 - 593.
- [CAP 01] CAPKUN S., HAMDI M., HUBAUX J.-P., « GPS-Free Positioning in Mobile ad-hoc Networks », *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, vol. Volume 9, 2001, page 9008, IEEE Computer Society, Location.
- [CLA 03] CLAUSEN T., JACQUET P., « Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) », october 2003, RFC 3626.
- [DES 07] DESAI J., TURELI U., « Evaluating performance of various localization algorithms in wireless and sensor networks », *IEEE PIMRC*, Athens, Greece, September 2007.
- [HEU 07] HEURTEFEUX K., VALOIS F., « Topology Control Algorithms : a qualitative study during the sensor networks life », *3rd International Workshop on Localized Communication and Topology Protocols for Ad hoc Networks (LOCAN'07)*, in conjunction with MASS, Pisa, Italy, October 2007.
- [HOF 01] HOFMANN-WELLENHOF B., LICHTENEGER H., COLLINS J., *Global Positioning System : Theory and Practice*, Springer Wien New York, 2001.
- [HOP 93] HOPPER A., HARTER A., BLACKIE T., « The active badge system (abstract) », *CHI '93 : Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 conference on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, 1993, ACM Press, p. 533–534.
- [HU 04] HU L., EVANS D., « Localization for mobile sensor networks », *ACM MobiCom*, New York, NY, USA, 2004, p. 45–57.
- [MAG 07] MAGNANI A., LEUNG K., « Self-Organized, Scalable GPS-Free Localization of Wireless Sensors », *IEEE WCNC*, Hong Kong, China, 2007, p. 3798–3803.

- [NAW 07] NAWAZ S., JHA S., « Collaborative localization for wireless sensor networks », *IEEE PIMRC*, Athens, Greece, September 2007.
- [NIC 03] NICULESCU D., NATH B., « Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA », *IEEE INFOCOM*, San Francisco, USA, 2003.
- [SAA 06a] SAAD C., « Une nouvelle méthode de positionnement dans les réseaux de capteurs », *AlgoTel*, Trégastel, France, 2006.
- [SAA 06b] SAAD C., BENSLIMANE A., KÖNIG J.-C., « MuR : A Distributed Preliminary Method For Location Techniques in Sensor Networks », *IEEE WiMob*, Montréal, Canada, 2006, p. 61–68.
- [WAN 02] WAN P., ALZOUBI K., FRIEDER O., « Distributed construction of connected dominating set in wireless ad hoc networks », *INFOCOM*, New York, NY, USA, 2002.
- [WAR 97] WARD A., A.JONES, HOPPER A., « A new location technique for the active office », *IEEE Personal Communications*, vol. 4, 1997, p. 42-47.
- [WU 99] WU J., LI H., « On calculating connected dominating set for efficient routing in ad hoc wireless networks », *ACM DIALM*, New York, NY, USA, 1999, p. 7–14.